

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.11.008

# 绕组分段永磁直线电机切换位置传感器 故障诊断及容错控制\*

张宏伟 王新环 荆鹏辉

(河南理工大学 电气工程与自动化学院 焦作 454000)

**摘要:**绕组分段永磁直线同步电机绕组切换过程中位置传感器信号的丢失,将导致电机速度剧烈波动,引起电机失步。针对以上问题,提出一种切换位置传感器故障诊断及容错控制方法。设计了绕组切换位置检测方法,研究了位置接近开关传感器的故障类型及信号特征,利用动子的运行速度及相邻的位置传感器信号进行传感器状态预测,并结合相邻传感器的边沿触发顺序及传感器状态预测值进行故障诊断。当检测到位置传感器故障时,隔离发生故障的传感器,采用估计值替代故障传感器输出驱动信号,可靠切换绕组分段永磁直线同步电机定子绕组,实现传感器容错控制。利用绕组分段永磁直线电机无绳提升系统进行了实验研究,研究表明,当增大传感器间隙,模拟传感器信号丢失故障时,电机定子绕组仍能可靠切换,电机速度运行平稳,该位置传感器故障诊断与容错控制方法可以满足绕组分段永磁直线电机切换控制实时性和可靠性要求,实验结果证明了其可行性和有效性。

**关键词:**绕组分段永磁直线同步电机;电感式位置传感器;故障诊断;容错控制

**中图分类号:** TM 359.4; TN79<sup>+</sup>1 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1010

## Fault diagnosis and fault-tolerant control of switching position sensor for segment winding permanent magnet linear synchronous motor

Zhang Hongwei Wang Xinhuan Jing Penghui

(School of Electrical Engineering & Automation, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

**Abstract:** During the movement of segment winding permanent magnet linear synchronous motor (SW-PMLSM), the loss of sensor signal may lead to sharp fluctuations in speed, and result in out of step. In order to solve these problems, a fault diagnosis and fault-tolerant control method is presented. The detection method of winding switching position is designed. The fault types and signal characteristics of the proximity sensors are studied. By using the speed of mover and the signals of the adjacent position sensors, the sensor state is predicted. The fault diagnosis of sensor is realized by using the edge triggering sequence of adjacent sensors and the predictive value of sensor state. When the position sensor fault is detected, the control system isolates the fault sensor. The stator winding of the SW-PMLSM is successfully triggered by the estimated value instead of the fault sensor signal. The experimental tests have been carried out on a prototype of SW-PMLSM rope-less lifting system. The results show that when the sensor gap is increased, the sensor signal is lost, the stator windings of the motor can be switched reliably and the speed is stable. The position sensor fault diagnosis and fault-tolerant control method can satisfy the real-time and reliability requirements of SW-PMLSM winding switching control, and the experimental results prove its feasibility and effectiveness.

**Keywords:** segment winding permanent magnet linear synchronous motor; inductance proximity sensor; fault diagnosis; fault-tolerant control

收稿日期:2017-03 Received Date: 2017-03

\* 基金项目:河南省自然科学基金(162300410349)、河南省高校控制工程重点学科开放课题(KG2014-05)、河南理工大学青年骨干教师资助计划(201310460023)、基本科研业务费(NSFRF140118)资助项目

## 0 引言

永磁直线同步电动机(permanent magnet linear synchronous motor, PMLSM)及其伺服系统具有高响应、高定位精度、高效节能等优点,已逐渐成为国内外研究的热点,在高精密数控机床、垂直运输系统等领域应用前景广阔<sup>[1-7]</sup>。在长行程的应用领域中,PMLSM通常将定子绕组进行分段设计,形成绕组分段式永磁直线同步电机<sup>[4,5]</sup>。在绕组分段式PMLSM的运行过程中,需要根据动子的位置信号,控制执行机构切换每一台电机定子绕组,实现绕组分段PMLSM的连续稳定运行。由于绕组切换位置传感器与电机本体安装在一起,在高温、油污、粉尘等恶劣情况下,容易造成位置传感器发生故障。绕组切换位置传感器出现故障后会导致电机供电发生异常,可能引起电机失步,直接影响电机的稳定运行<sup>[2,8]</sup>。因此对绕组分段永磁直线同步电机绕组切换位置传感器进行故障检测、诊断以及容错控制是非常必要的。

对传感器进行故障诊断有多种途径<sup>[9-13]</sup>,如基于小波包变换和支持向量机<sup>[14]</sup>、基于卡尔曼滤波<sup>[9]</sup>等理论方法,其中大多数方法是对传感器输出的信号进行分析得到其故障特征的时频特性。但绕组分段永磁直线同步电动机切换传感器产生的是方波电平信号,因此应研究一种稳定、可靠、快速的SW-PMLSM切换传感器故障诊断与容错控制方法。

目前国内外学者对开关磁阻电机、无刷直流电机,双凸极电机等电机系统的位置传感器故障诊断及容错控制进行了大量的研究<sup>[10-13,15-17]</sup>。文献[15]对开关磁阻电机位置信号的故障检测与容错控制进行了研究,提出了通过检测各相位置信号的双边沿触发顺序以及相邻脉冲触发边沿之间角度差来实现传感器故障检测的方法,并利用位置传感器信号之间位置角度的关系实现传感器发生故障后的容错控制;文献[16]对永磁无刷电机霍尔位置传感器的故障与容错控制方法进行了研究,提出了能够克服霍尔传感器故障的闭环角度观测器以及具有容错功能的霍尔矢量跟踪观测器。文献[17]提出了利用位置传感器信号的换相逻辑进行重构实现双凸极电机传感器故障后的容错控制方法。文献[10]针对多段直线电机控制系统提出一种切换传感器故障在线诊断的方法,研究了切换传感器信号运动变化规律,给出计算传感器信号差异度的方法,根据测量的传感信号时序,估计传感系统的状态迁移过程,根据系统标准传感器信号集合进行故障的定位。目前,对于绕组分段永磁直线同步电机位置传感器故障诊断及容错控制的研究则十分缺乏。

本文根据绕组分段永磁直线同步电机结构及运行原

理,对绕组切换位置传感器故障诊断及容错控制方法进行了研究,在分析位置传感器故障类型及信号特征的基础上,提出一种绕组切换位置传感器故障诊断与容错控制方法。最后利用SW-PMLSM无绳提升系统样机进行了实验研究,验证了位置传感器信号故障诊断及容错控制的正确性和可行性。

## 1 绕组分段PMLSM结构及工作原理

### 1.1 绕组分段PMLSM结构

图1所示为本系统研究的绕组分段PMLSM无绳提升系统,该系统采用单边型绕组分段永磁直线电机作为驱动源,将电枢绕组固定作为定子,永磁体作为动子,采用分段供电的方案,主要参数如表1所示。



图1 绕组分段PMLSM提升系统结构

Fig. 1 Structure of segment winding PMLSM lifting system

表1 绕组分段永磁直线同步电机参数

Table 1 Specification of segment winding PMLSM

名称	参数
额定功率	1.5 kW
最大提升高度	4 m
额定运行的速度	0.3 m/s
单台定子电枢的长度	360 mm
定子电枢分段的数量	10 台
动子的长度	1.440 m

### 1.2 绕组分段PMLSM定子绕组切换方法

在绕组分段PMLSM的运行过程中,需要将永磁体动子覆盖的所有定子绕组单元同时通电。定子绕组单元的供电采用递推切换方法,根据永磁体动子的位置信号,控

制接触器提前将动子覆盖的电机定子绕组通电,以实现电机定子绕组的分段供电控制。

为了保证绕组分段 PMLSM 系统的连续稳定运行,需要提前预先接通一台电机定子绕组单元。实验样机动子长度等于 4 台电机定子绕组单元的长度。提升模式电机定子绕组的切换策略为检测到 1#位置开关时,接通 1~5 号定子绕组单元;检测到 2#位置开关时,接通 2~6 号定子绕组单元;以此类推,检测到 6#位置开关时,接通 6~10 号定子绕组单元。在绕组分段 PMLSM 运行的过程中,永磁体动子至少完全覆盖 3 台定子绕组单元,其中一台电机的定子绕组与永磁体动子的耦合区域逐渐减小,另一台电机的定子绕组与永磁体动子的耦合区域逐渐增加。下降过程与提升过程类似,预先接通即将耦合的定子绕组,如检测到 6#位置开关时,接通 5~9 号定子绕组单元。

### 1.3 绕组切换位置信号的检测

电感式位置接近开关具有体积小、抗干扰能力强等优点,在工业领域应用十分广泛。本系统中的绕组切换位置信号检测采用电感式位置接近开关。电感式位置接近开关的安装布置如图 2 所示。接近开关型号为 LJ18A3-8-Z,最大的检测距离 8 mm,工作电压 24V DC,输出三线制 NPN 常开信号。为实现接近开关传感器的故障检测及容错控制,接近开关的检测钢板长度设置为 420 mm,同时覆盖两个接近开关。接近开关传感器安装在定子基座上,位于相邻两台电机定子电枢中间。接近开关检测钢板安装在动子的底部,与传感器平行,间隙为 3 mm。

定子电枢的绕组切换控制由 PLC 实现,本系统选择三菱 FX2N PLC 作为绕组切换运行控制器。所有的绕组切换位置接近开关传感器的输出信号均进入 PLC 数字量输入端子,当动子进入某个传感器的有效探测范围时,

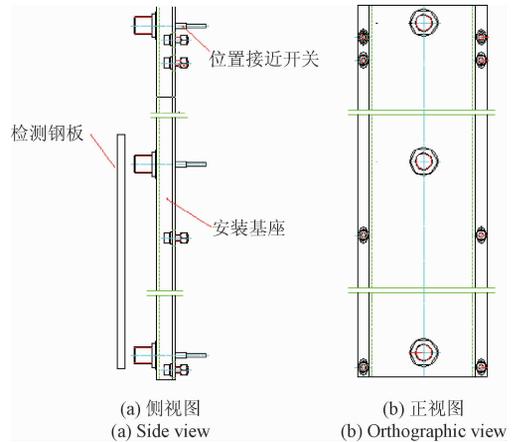


图 2 位置接近开关安装布置

Fig. 2 Layout of position proximity switches

相应的传感器输出高电平信号,否则输出低电平信号。部分 I/O 接口地址分配如表 2 所示。传感器的接线如图 3 所示。

表 2 PLC I/O 口地址分配表

Table 2 PLC I/O port address assignment

序号	输入	备注	输出	备注
1	X10	1#位置信号	Y0	1#电机运行
2	X11	2#位置信号	Y1	2#电机运行
3	X12	3#位置信号	Y2	3#电机运行
4	X13	4#位置信号	Y3	4#电机运行
5	X14	5#位置信号	Y4	5#电机运行
6	X15	6#位置信号	Y5	6#电机运行
7	X16	7#位置信号	Y6	7#电机运行
6	X17	8#位置信号	Y7	8#电机运行
7			Y10	9#电机运行
8			Y11	10#电机运行

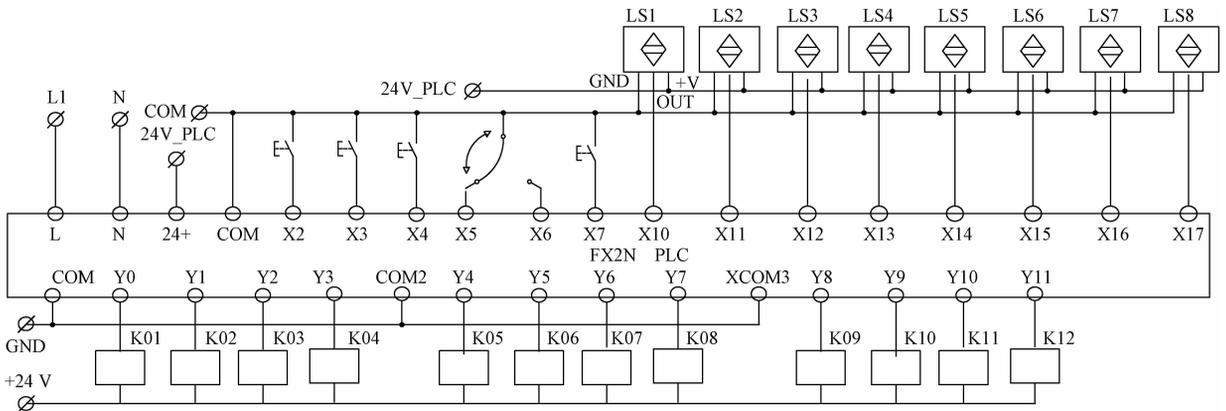


图 3 电感式接近开关接线原理

Fig. 3 Schematic diagram of proximity switch wiring

## 2 绕组切换位置传感器故障诊断

### 2.1 位置接近开关故障分析

在高温、油污、粉尘等恶劣环境下,容易造成位置接近开关传感器发生故障,常见故障原因如下<sup>[16,18]</sup>:

- 1) 电源电压异常导致传感器输出信号不稳定;
- 2) 因机械撞击等原因导致接近开关探头损坏;
- 3) 接近开关传感器内部电路故障;
- 4) 连接线路故障,如导线断线、接触不良等。

一旦绕组切换位置接近开关发生故障,将会出现位置信号丢失现象,导致绕组分段 PMLSM 定子绕组切换失败,影响系统的稳定运行。

电感式位置接近开关的信号模型可以表示为:

$$\Delta y = k \cdot \Delta x \quad (1)$$

式中:  $k$  为传感器的增益。

电感式位置接近开关传感器为方波电平信号,正常工作时  $k = 1$ ; 出现故障时,持续低电平输出,  $k = 0$ ; 其故障模型可用下式表示:

$$y = a \quad (2)$$

式中:  $a$  为常数。当  $a = 0$  时,表示传感器无输出;  $a = 1$  时,表示传感器有信号输出。

### 2.2 电感式接近开关故障模式

绕组分段 PMLSM 正向运行时,电感式接近开关传感器故障前后的输出信号波形如图 4 所示。为了方便分析,现将第  $i$  个接近开关传感器的上升沿和下降沿(跳变沿)分别标记为  $i_{(+)}$ 、 $i_{(-)}$ ,第  $i+1$ 、 $i+2$  个传感器的跳变沿分别标记为  $i+1_{(+)}$ 、 $i+1_{(-)}$  和  $i+2_{(+)}$ 、 $i+2_{(-)}$ 。

图 4(a) 表示接近开关传感器无故障时输出波形。图 4(b) 表示因接触不良、损坏等原因造成的接近开关信号不稳定故障。图 4(c) 表示接近开关持续低电平故障,传感器信号丢失。图 4(d) 表示持续高电平故障。

反向运行时,电感式接近开关传感器故障前后的输出信号波形与正向类似。为了更好地说明传感器诊断的过程,表 3 给出了传感器故障类型及判断方法。

### 2.3 电感式接近开关故障诊断方法

当某个接近开关传感器出现故障时,“跳变沿”输出的顺序将发生改变。PLC 通过检测这些故障特征就可以诊断出位置传感器故障类型及故障位置。第  $i$  个接近开关传感器故障诊断流程如图 5 所示。

## 3 绕组切换位置接近开关传感器容错控制

### 3.1 位置接近开关传感器状态估计

根据动子的运行速度及相邻位置的传感器信号状

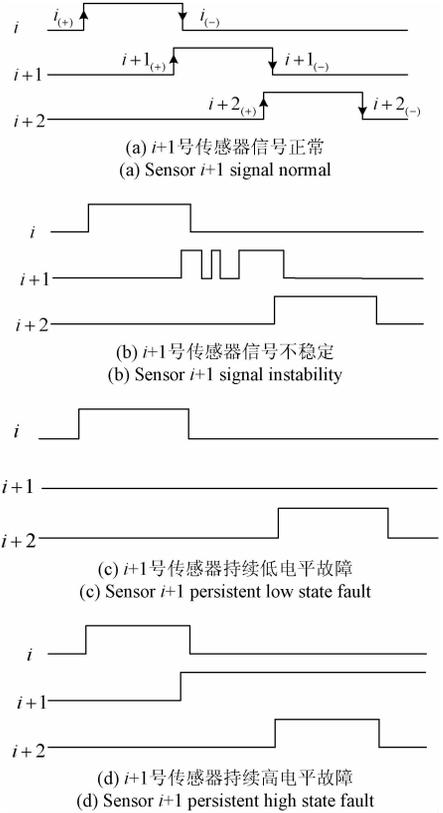


图 4 绕组切换接近开关输出信号波形

Fig. 4 Output signal waveform of winding switching proximity switch

表 3 传感器信号的故障诊断表

Table 3 Fault diagnosis of sensor signal

故障类型	故障特征
信号不稳定	一个周期内出现多次跳变沿
信号丢失	在第 $i$ 个位置传感器下降沿到来前,未检测到第 $i+1$ 个传感器的上升沿,第 $i+1$ 个传感器信号丢失故障
持续高电平	检测到第 $i+1$ 个位置传感器上升沿后,延时一段时间,未检测到第 $i$ 个位置传感器下降沿,第 $i$ 个传感器持续高电平故障

态,可以对下一个传感器的状态信号进行在线估算。根据永磁直线同步电机的运行原理,动子移动的距离(位移)可以表示为:

$$x = \int v dt \quad (3)$$

PMLSM 的运行速度为:

$$v = 2f\tau \quad (4)$$

式中:  $f$  为供电电源频率,  $\tau$  为 PMLSM 的极距。根据式(3)、(4),动子移动距离可以通过式(5)计算。

$$x = \int 2f\tau dt \quad (5)$$

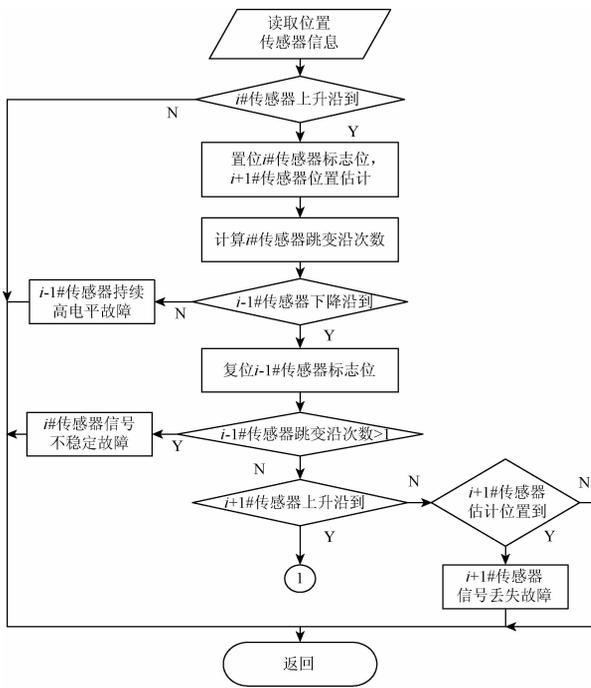


图 5 第  $i$  个传感器故障诊断流程

Fig. 5 Flow chart of fault diagnosis for the sensor  $i$

由于接近开关传感器的安装间距为单段定子电枢的长度  $l$ 。当 PLC 检测到第  $i$  个接近开关传感器的上升沿时,可以通过式(5)实时在线计算动子移动的距离。然后根据动子的位移,估计下一个传感器的状态,如图 6 所示。

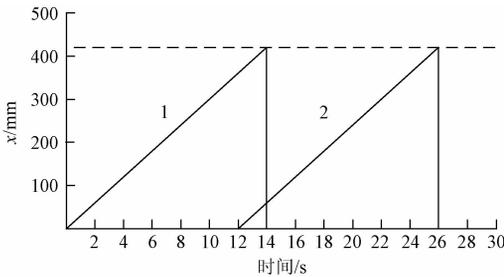


图 6 切换位置估计

Fig. 6 Switching position estimation

考虑到 PMLSM 速度误差,为提高抗干扰能力,设置一个阈值  $\varepsilon$ ,根据阈值  $\varepsilon$  可以确定一个动子位移  $x$  的判断区间  $[l - \varepsilon, l + \varepsilon]$ 。如果在此区间内,第  $i + 1$  个传感器的上升沿脉冲被捕捉到,则该传感器的信号正常,可由真实的传感器信号切换电机定子绕组;否则,诊断该传感器的信号丢失,隔离该故障传感器,采用估计值替代发生故障的传感器。

### 3.2 位置接近开关传感器故障诊断及容错控制方案

电感式接近开关传感器故障诊断及容错控制系统结

构如图 7 所示,主要由接近开关传感器状态预测、故障检测与诊断、软切换容错控制模块组成。

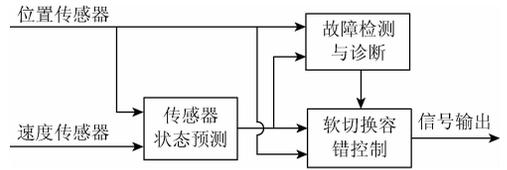


图 7 位置传感器容错控制结构

Fig. 7 Structure of position sensor fault-tolerant control

接近开关传感器状态预测模块通过硬件捕捉当前传感器的“跳变沿”,根据动子移动的位移预测下一个传感器的输出信号状态。故障检测与诊断模块利用相邻的位置接近开关状态信号以及传感器状态预测值进行故障检测,并输出故障信息。软切换容错控制模块根据故障检测与诊断模块的输出结果进行定子绕组切换容错控制,当检测到某一个位置接近开关故障时,首先隔离故障的传感器,然后采用位置估计值替代发生故障的传感器输出驱动信号,可靠触发定子绕组,保证系统稳定运行。绕组分段 PMLSM 切换位置传感器故障诊断及容错控制流程如图 8 所示。

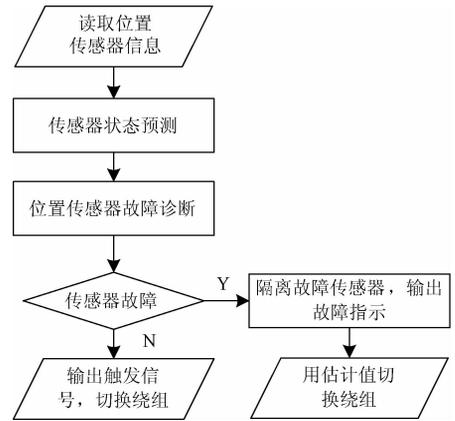


图 8 切换位置传感器故障诊断及容错控制流程

Fig. 8 Flow chart of fault diagnosis and fault-tolerant control

## 4 实验验证

利用绕组分段 PMLSM 直驱的无绳提升系统对文中提出的故障诊断与容错控制方法进行了实验验证,实验平台如图 9 所示,电机参数如表 1 所示。

在直线电机运行过程中,预先增大 4#位置接近开关传感器的间距,人为模拟传感器信号丢失故障,故障状态下的直线电机速度波形如图 10(a)所示。对于同一故障源,采用容错控制方法后测得的直线电机速度波形如图 10(b)所示。从实验结果可以看出,当未采用容错控制



图9 绕组分段 PMLSM 直驱提升系统实验平台  
Fig.9 Experimental platform of segment PMLSM

方法时,位置接近开关传感器信号丢失将导致电机速度剧烈波动。采用本文提出的故障诊断与容错控制方法后,在检测到位置接近开关传感器故障时,隔离故障传感器,采用估计值替代发生故障的传感器输出驱动信号,可靠切换了绕组分段 PMLSM 定子绕组,系统的可靠性显著提高。

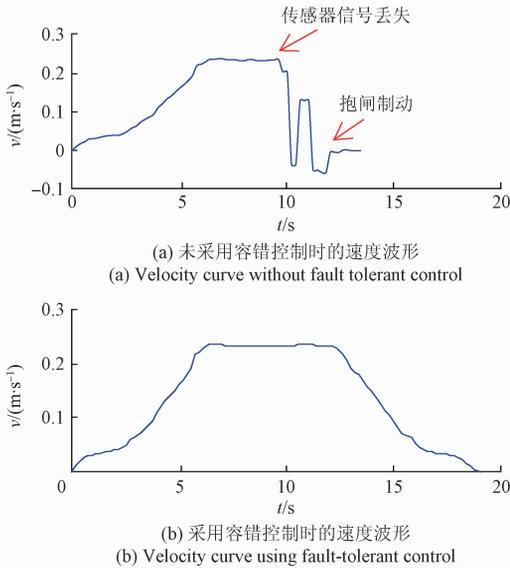


图10 实验结果  
Fig.10 Experimental results

### 5 结 论

针对绕组分段 PMLSM 切换位置传感器信号丢失问题,提出了一种切换位置传感器的故障诊断与容错控制方法。设计了一种采用电感式接近开关的位置检测系统,根据动子运行中产生的传感信号时序,分析了接近开关传感器故障类型及信号特征,给出了利用动子运行速

度及相邻的位置传感器信号进行传感器状态预测的方法,提出了利用相邻传感器输出信号的边沿触发顺序及传感器状态预测值进行故障诊断,描述了容错控制流程。最后通过绕组分段 PMLSM 无绳提升系统进行故障模拟实验,验证了位置传感器故障诊断与容错控制的正确性和可行性。本方法为绕组 PMLSM 绕组切换位置传感器在线故障诊断及容错控制提供了一种有效途径。

### 参考文献

[ 1 ] TAKAHASHI N, MARKON S, ONAT A. Multi-objective optimization of the design of an elevator linear motor [C]. IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2013: 1-5.

[ 2 ] ZHANG H W, YU F SH, WANG X H. Condition monitoring of rope-less elevator braking system based on wavelet denoising[J]. Journal of Computers (Finland), 2013, 8(3):741-748.

[ 3 ] KIM J, CHO K, CHOI S, et al. Position estimation using linear hall sensors for permanent magnet linear motor systems [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2016, 63(12): 7644-7652.

[ 4 ] PARK E J, JUNG S Y, KIM Y J. A design of optimal interval between armatures in long distance transportation PMLSM for end cogging force reduction[J]. Journal of Electrical Engineering and Technology, 2016, 11(2): 361-366.

[ 5 ] LU Q F, HUANG L R, YE Y Y, et al. Design of a novel permanent magnet linear synchronous motor with segmented armature core for ropeless lifter [J]. The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, 2016, 35(2): 556-571.

[ 6 ] 韩彦东 汪旭东 许孝卓,等. 基于遗传算法的永磁同步直线电机 PID 控制研究[J]. 电子测量技术, 2016, 39(5):115-119.

HAN Y D, WANG X D, XU X ZH, et al. PID Control of permanent magnet linear synchronous motor based on genetic algorithm [J]. Electronic Measurement Technology, 2016, 39(5):115-119.

[ 7 ] 汪旭东, 夏涛, 许孝卓,等. 永磁同步直线电机的粒子群 PID 空间矢量控制[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(5):655-661.

WANG X D, XIA T, XU X ZH, et al. Particle swarm PID space vector control of permanent magnet synchronous linear motor [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015, 29(5): 655-661.

- [ 8 ] 张宏伟,余发山,王新环,等. 多定子永磁直线同步电机绕组切换故障特性研究[J]. 电机与控制学报, 2015,19(3):30-36.  
ZH H W, YU F SH, WANG X H, et al. Research on characteristics of multi-primary permanent magnet linear synchronous motors under switching failure modes [J]. Electric Machines and Control, 2015, 19(3):30-36.
- [ 9 ] 张娅玲,陈伟民,章鹏,等. 传感器故障诊断技术概述[J]. 传感器与微系统, 2009, 28(1): 4-6.  
ZHANG Y L, CHEN W M, ZHANG P, et al. Overview on sensor fault diagnosis technology [J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2009, 28 ( 1 ) : 4-6.
- [ 10 ] 徐兴华,马伟明,崔小鹏,等. 分段供电切换传感器的在线故障诊断方法[J]. 国防科技大学学报, 2016, 38(6):24-36.  
XU X H, MA W M, CUI X P, et al. Online fault diagnosis method of segment-powered switch control sensor [J]. Journal of National University of Defense Technology, 2016, 38(6):24-36.
- [ 11 ] 冯志刚,王祁,徐涛,等. 基于小波包和支持向量机的传感器故障诊断方法[J]. 南京理工大学学报: 自然科学版, 2008, 32(5): 609-614.  
FENG ZH G, WANG Q, XU T, et al. Sensor fault diagnosis based on wavelet packet and support vector machines [J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology: Natural Science, 2008, 32 ( 5 ) : 609-614.
- [ 12 ] 谈恩民,何正岭. 模拟电路故障重叠诊断方法研究[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(6):33-36.  
TAN EN M, HE ZH L. Study on the faults overlap diagnosis method in analog circuit [ J ]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2015, 34 ( 6 ) : 33-36.
- [ 13 ] 谭平,蔡自兴,余伶俐. 不同精度的冗余传感器故障诊断研究[J]. 控制与决策, 2011, 26(12):1909-1912.  
TAN P, CAI Z X, YU L L. Research on fault diagnosis of different precision redundant sensors [J]. Control and Decision, 2011, 26(12): 1909-1912.
- [ 14 ] 王辉,赵静,赵吉文,等. 基于 SVD 的直线电机动子位置的高精度测量方法 [J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(9):2101-2107.  
WANG H, ZHAO J, ZHAO J W, et al. An ultra-precision measurement method based on the SVD for the linear motor mover position [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2016, 37(9):2101-2107.
- [ 15 ] 许培林,邓智泉,陈小元,等. 开关磁阻电机位置信号的故障检测与容错控制 [J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(33):123-130.  
XU P L, DENG ZH Q, CHEN X Y, et al. Fault diagnosis and fault-tolerant control of position signals for switched reluctance motors [J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(33):123-130.
- [ 16 ] 董亮辉,刘景林. 霍尔传感器故障下的永磁无刷电机容错控制及其动态性能研究[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37 ( 12 ) :3602-3611.  
DONG L H, LIU J L. Research on the fault tolerant control and its dynamic performance of brushless permanent magnet motor with faults in hall sensor [J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37 ( 12 ) :3602-3611.
- [ 17 ] 马长山,周波. 双凸极电机位置信号的故障诊断与容错控制 [J]. 中国电机工程学报, 2008, 28 ( 18 ) : 73-78.  
MA CH SH, ZHOU B. Fault diagnosis and fault-tolerant control of position signal for doubly salient motor [J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(18):73-78.
- [ 18 ] 黎勤,盖晓明,黎华. 浅谈电磁干扰对电感式接近开关的影响 [J]. 机电工程, 2008(1):99-101.  
LI Q, GAI X M, LI H. Simple discussion of the influence of the electromagnetism exert on inductance proximity switch [ J ]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2008(1):99-101.

## 作者简介



张宏伟, 2002 年于焦作工学院获得学士学位, 分别在 2005 和 2015 年于河南理工大学获得硕士学位和博士学位, 现为河南理工大学副教授, 主要研究方向为运动系统控制、工业过程控制。

E-mail: zhanghw@hpu.edu.cn

Zhang Hongwei received B. Sc. from Jiaozuo Institute of Technology in 2002, M. Sc. and Ph. D. from Henan Polytechnic University in 2005 and 2015, respectively. Now he is an associate professor in Henan Polytechnic University. His main research interest includes motion system control, and industrial process control.



王新环, 2002 年于焦作工学院获得学士学位, 2005 年于河南理工大学获得硕士学位, 现为河南理工大学副教授, 主要研究方向为测试技术、电力电子与电力传动。

E-mail: wang\_xh@hpu.edu.cn

Wang Xinhuan received B. Sc. from Jiaozuo Institute of Technology in 2002, and M. Sc. from Henan Polytechnic University in 2005, respectively. Now she is an associate professor in Henan Polytechnic University. Her main research interest includes testing technique, power electronics and electric drives.



荆鹏辉,分别在2007、2010年于河南理工大学获得学士学位和硕士学位,2013年于中国矿业大学获得博士学位,现为河南理工大学讲师,主要研究方向为电力电子与电力传动。  
E-mail:jphstudy@163.com

Jing Penghui received B. Sc. and M. Sc. from Henan Polytechnic University in 2007 and 2010, and Ph. D. from China University of Mining and Technology (Beijing) in 2013, respectively. Now she is a lecturer in Henan Polytechnic University. Her main research interest includes power electronics and electric drives.

## 泰克为下一代汽车设计与工程提供最新测试解决方案

随着电子器件在汽车中的作用不断扩大,创新的5系列混合信号示波器(MSO)最新软件解决方案加快了设计周期,使工程师能够更深入的研究

泰克科技公司日前推出专为5系列混合信号示波器(MSO)开发的新型汽车专用软件解决方案,旨在加快下一代汽车中使用的复杂电子器件的验证速度,缩短这些电子器件的设计周期。最新汽车解决方案全面利用5系列混合信号示波器(MSO)的关键创新技术,包括最多8个通道、12位分辨率及大型高清容性触控显示器和高度直观的用户界面。

汽车行业正在经历着剧变,受到数字化创新的驱动,从智能无人驾驶汽车到替代或增强传统机电系统的电子系统。对新型中速和高速串行总线的需求,比如CAN FD (5-10 Mb/s)和汽车以太网,与包括LIN、FlexRay、MOST和其他汽车总线技术共存,则使形势变得更加复杂。通过这次专为5系列混合信号示波器(MSO)开发的软件,泰克为汽车工程师提供了理想的解决方案,他们可以分析和调试所有汽车子系统电子控制单元(ECUs)和多条总线。

“针对5系列混合信号示波器(MSO)的这些解决方案将使下一代汽车工程师能够更加深入地了解复杂系统,更快地解决问题,并保证项目按计划进行。”泰克科技公司中端示波器总经理 Brian Ice 说,“与仅限于四个通道的其他解决方案不同,5系列混合信号示波器(MSO)使得客户能够同时捕获更多的信息并交互比较,从而更快、更高效地进行故障排除和调试。”

泰克为5系列混合信号示波器(MSO)开发的最新汽车解决方案包括:

- 5-SRAUTO 协议选项包,可以对汽车行业使用的总线进行全面的串行触发和分析,包括CAN、CAN FD、LIN 和 FlexRay。CAN FD 支持非 ISO 标准版本和 ISO 标

准版本。

- 5-CMAUTOEN 汽车以太网解决方案支持根据 IEEE P802.3bw (100BASE-T1) 和 BroadR-Reach V3.2 规范要求自动进行一致性测试。这种自动化一致性测试解决方案包括5系列混合信号示波器(MSO)上运行的测试软件,同时执行汽车以太网 OPEN 联盟特别兴趣小组(SIG)标准所定义的物理媒体附件(PMA)发射机第1组电气测量一致性测试。

### 重新定义中端示波器

新功能扩展了5系列混合信号示波器(MSO)支持的应用,提供了大量的创新技术,重新定义了中端示波器。这些创新技术包括:业界第一个 FlexChannel™ 技术,支持4、6或8个模拟通道及最多64个数字通道,集成协议分析和信号发生器,新型12位ADC信号采集系统,15.6英寸容性触控显示器,高度直观的用户界面,为复杂的嵌入式系统提供前所未有的灵活性和无与伦比的可视性。

### 供货情况

专为5系列混合信号示波器(MSO)开发的汽车解决方案现已上市,如需进一步了解泰克全线汽车解决方案,敬请访问:<https://cn.tek.com/automotive-0>。

想知道泰克其它动态? 查看 Bandwidth Banter 博客, 关注 Twitter 和 Facebook, 了解泰克最新消息。

### 关于泰克科技

泰克公司总部位于美国俄勒冈州毕佛顿市,致力提供创新、精确、操作简便的测试、测量和监测解决方案,解决各种问题,释放洞察力,推动创新能力。70多年来,泰克一直走在数字时代前沿。欢迎加入我们的创新之旅,敬请登录:TEK.com。